

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации А.Н. Сухановского

«Конвективные течения различных масштабов в неподвижных  
и вращающихся замкнутых объёмах»,

представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук  
по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Представленные в диссертации А.Н. Сухановского исследования касаются сразу нескольких направлений в механике жидкости. Работа охватывает достаточно широкий класс задач, связанных с возникновением и структурой конвективного движения в самых разных условиях. Рассматриваются течения в неподвижных и вращающихся полостях, в кюветах различной геометрии и с разными условиями подогрева. Затрагиваются и такие фундаментальные вопросы, как структура крупномасштабной циркуляции и генерация спиральности в конвективных потоках. Учитывая высокую значимость каждой из рассмотренных проблем для геофизики и астрофизики, тема диссертационной работы в настоящее время является достаточно актуальной.

Основная часть диссертационного исследования посвящена экспериментальному и численному изучению турбулентной конвекции Рэлея-Бенара в кубической полости. Здесь соискателем был разработан новый сценарий смены ориентации крупномасштабной циркуляции (КМЦ), возникающей на фоне мелкомасштабных турбулентных движений. В рамках указанного сценария автором было предложено рассматривать суперпозицию из двух ортогональных валовых движений, приостановка одного из которых приводит к переориентации КМЦ — переходу ее плоскости с одной диагонали на другую. Кроме того, в данной части исследования был разработан интегральный метод анализа динамики КМЦ в кубической полости, что, безусловно, является важным достижением в изучении турбулентной конвекции.

Не менее важной частью диссертационной работы является изучение движения жидкости при неоднородном подогреве снизу прямоугольной и цилиндрической полостей. В обоих случаях условия подогрева имели ступенчатый характер, что, помимо генерации основного адвективного течения вдоль всей кюветы, приводило к возникновению движения в виде горизонтальных валов меньшего масштаба, локализуемых в пограничном слое над горячим теплообменником. В зависимости от интенсивности основного течения и величины вертикального градиента температуры в системе наблюдаются две различные моды в виде продольных и поперечных валов.

Стоит сказать, что вопрос реализации той или иной формы течения является ключевым для целого ряда практических приложений, поскольку форма и масштаб установившейся конвекции определяют переносимый жидкостью тепловой поток — наиболее важную в приложениях характеристику. В то же время формирование мелкомасштабных движений и перестройка их структуры при определенных значениях управляющих параметров являются определяющими для прогнозирования явлений атмосферы и океана. Полученные автором в данной части исследования результаты представляют бесспорный интерес.

В приложении к динамике атмосферы соискателем было также рассмотрено дифференциальное вращение тонкого цилиндрического слоя с различными условиями подогрева — локализация источника тепла производилась на периферии, либо в центре кюветы, что обеспечивало наличие в системе двух различных направлений горизонтального градиента плотности. В условиях вращения это приводило к формированию двух типов течения. Автор показал, что причиной дифференциального вращения служит меридиональный перенос и диффузия углового момента слоя жидкости. Рассмотренная здесь проблема является достаточно острой, поскольку крупномасштабные движения в тонких слоях жидкости — это основной тип движения как в атмосфере

планеты, так и в конвективной зоне звезд, где ключевой особенностью является как раз наличие продольного температурного градиента.

Еще один вопрос геофизики, рассматриваемый автором, касается формирования тропических циклонов (ТЦ). В ходе лабораторного моделирования циклонического вихря были получены зависимости его интегральных и локальных характеристик от основных параметров задачи — скорости, вязкости жидкости и перепада температур. Проведено исследование вторичных конвективных движений в пограничном слое кюветы, моделирующей ТЦ. Особое внимание привлекает использованная в рамках данного исследования программно-аппаратная система для экспериментов с обратной связью, позволяющая с помощью суперкомпьютера управлять экспериментальной установкой в режиме реального времени. Обратная связь налаживалась между нагревом и скоростью течения, что позволило детально изучить механизмы образования ТЦ. Разработанная методика является принципиально новой и может характеризоваться как крупный прорыв в технологии проведения научного эксперимента, а результаты главы в целом являются весомым вкладом в геофизическую гидродинамику.

Основываясь на опубликованных работах и автореферате, можно заключить что тема диссертационной работы Сухановского А.Н. является актуальной, а сама работа имеет высокую практическую и научную значимость. Полученные результаты позволяют говорить о работе, как о заметном явлении в развитии соответствующей теории и экспериментальных методов исследования.

Тем не менее, автореферат диссертации не лишен определенных недостатков. **Главное**, что бросилось в глаза рецензенту, автореферат не содержит ни одной формулы! Все таки искомая степень физико-математических наук подразумевает представление результатов исследований, выраженных на точном языке математики, прежде всего. Я уверен, что автор получил такие результаты (управляющие уравнения, численные схемы, важные асимптотики и т.д.) в своем диссертационном исследовании, но ни один их них в автореферате не представлен. И это сильно снизило ценность и информативность автореферата, как независимого документа. **Второе замечание**, которое также кажется рецензенту важным: соискатель четко не формулирует в работе профиль своей диссертации. Насколько можно понять из текста автореферата, автор проводил как экспериментальные, так и численные (теоретические) исследования. Это два разных жанра исследовательской работы, которые подразумевают определенный стиль изложения результатов и доказательства их достоверности. С этой точки зрения автореферат не вписывается в классические рамки работы ни вычислителя (например, обсуждение сходимости и точности численных схем, сравнение времени выполнения тестовых задач), ни экспериментатора (например, обсуждение погрешностей эксперимента, описание техники проведения эксперимента, представление данных с вилками погрешностей). Это цена, которую платит соискатель за междисциплинарность. Поэтому соискатель должен сформулировать, что ему удалось добиться при отходе от четкой исследовательской идентификации. **Еще одно замечание** касается обсуждения бенчмарка для модели циклонов. Во введении автор отмечает, что существующие модели циклонов включают более тридцати параметров, и определение наиболее важных из них — само по себе чрезвычайно сложная задача. Однако, далее автор постулирует, что рассматриваться будут вполне стандартные для тепловой конвекции факторы — нагрев, скорость вращения и вязкость жидкости. Из автореферата не ясно, чем именно, кроме возможностей используемой экспериментальной установки, диктуется такое резкое упрощение набора. Вопрос о тридцати параметрах и об изготовлении установки специально для моделирования ТЦ, таким образом, остается совершенно в тени. Автор рецензии надеется, что соискатель подробнее раскроет этот момент на защите. **В заключении отмечу**, что автореферат имеет проблемы с орфографией, в особенности это касается неправильной пунктуации. Рецензент обнаружил несколько десятков таких

ошибок, что говорит о систематичности проблемы. Вот только некоторые из обнаруженных ошибок, причём, часть из них даже искажает смысл написанного:

Стр. 3, строка 6 сверху: «Многообразие конвективных систем и необходимость их детального изучения, привели к появлению...»

Стр. 4, строка 15 сверху: «Прямое численное моделирование теплообмена от локализованного источника тепла, требует высокого...»

Стр. 4, строка 13 снизу: «Актуальность изучения ДВ во вращающихся сферических слоях непроводящей среды, обусловлена тем...»

Стр. 5, строка 5 сверху: «...работы по лабораторному моделированию ТЦ, посвящены изучению...»

Стр. 6, строка 5 сверху: «Целью диссертационной работы, является выявление...»

Стр. 10, строка 19 снизу: «...а также сравнением, где возможно, полученных результатов с результатами имеющихся, численных, теоретических и экспериментальных, исследований...»

Стр. 13, строка 22 снизу: «...При изучении генерации спиральности, в [24] автор сформулировал постановку задачи, автор планировал ход экспериментальных измерений, производил настройку и тестирование PIV системы, измерения методом StereoPIV...»

Высказанные замечания отражают либо стилевые пристрастия рецензента, либо не достаточную аккуратность соискателя при написании автореферата, и не носят принципиального характера.

Таким образом, сделанные замечания не изменяет в целом хорошего впечатления о работе. Автореферат написан ясно и позволяет составить представление о содержании диссертации. Результаты исследований подтверждены научными публикациями в солидных журналах и были неоднократно обсуждены на международных и российских конференциях. Список литературы содержит работы, которые выполнены как в большой группе соавторов, так и сугубо авторские работы соискателя. Считаю, что диссертация Сухановского Андрея Николаевича выполнена на высоком научном уровне, содержит новые результаты, имеет большую научную ценность и практическую значимость и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым диссертациям на соискание степени доктора физико-математических наук. Считаю, что автор диссертации заслуживает присуждения ему искомой степени.

Я, Брацун Дмитрий Анатольевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Доктор физ.-мат.наук, доцент, заведующий кафедрой «Прикладная физика» факультета Прикладной математики и механики ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

614990, Пермский край, г. Пермь - ГСП, ул. Профессора Поздеева, дом 11, корпус В,  
e-mail: DABracun@pstu.ru, тел. +7 (342) 239-14-14

Брацун Дмитрий Анатольевич  
15.06.2021

Подпись

*Брацун Д.А.*

ЗАВЕРЯЮ:

Ученый секретарь ПНИПУ

*В.И. Макаревич*

15 июня 2021 г.

